

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 25 NOV 2004

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

103 57 075.6

**Anmeldetag:**

06. Dezember 2003

**Anmelder/Inhaber:**

Dornier GmbH, 88039 Friedrichshafen/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zur Lärmreduzierung von Turbomaschinen

**IPC:**

F 01 D 9/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 2. November 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

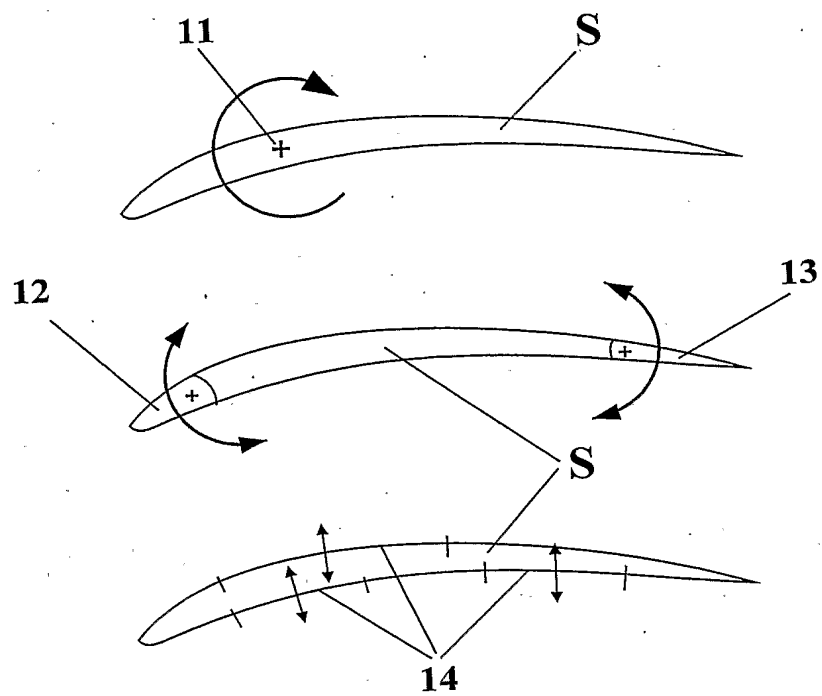
Letang



## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Lärmreduzierung von Turbomaschinen mit  
5   Schaufelgittern (S1;R1, S2;R1, S3;R3, S4;R4) sowie eine Rotor-Stator-Anordnung.  
Gemäß der Erfindung werden die an den Schaufelgittern (S1,R1; S2,R1; S3,R3;  
S4,R4) auftretenden hydrodynamischen Druckschwankungen mittels Veränderung  
der Oberflächenumströmung mindestens eines Teils mindestens eines Stators (S1,  
S2, S3, S4) reduziert und an einem oder mehreren Statoren (S1, S2, S3, S4) sind  
10   Mittel (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17) zur Beeinflussung der Oberflächenumströmung  
mindestens eines Teils des Stators (S1, S2, S3, S4) vorhanden.

(Fig. 2)



**Fig. 2**

DORNIER GMBH

88039 Friedrichshafen

P 611 078 /DE /1

5

## Verfahren zur Lärmreduzierung von Turbomaschinen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Lärmreduzierung von Turbomaschinen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie eine Rotor-Stator-Anordnung dazu gemäß Patentanspruch 10.

Turbomaschinen zeichnen sich durch eine sequentielle Anordnung von rotierenden und stationären Schaufelgittern, auch als Rotor und Stator bezeichnet, aus. In Fig. 1 ist beispielhaft die Anordnung von Rotor und Stator in einem Flugtriebwerk gezeigt.

- 15 Das Arbeitsfluid, üblicherweise Luft, durchströmt in Pfeilrichtung dabei folgende Kombinationen von Rotoren und Statoren in den verschiedenen Baugruppen a, b, c von Turbomaschinen. In Fig. 1 ist mit dem Bezugszeichen a die Fansektion bezeichnet, welche sich in Strömungsrichtung aus der Kombination von Fan R1 und Leitrad S1 im Primärkreis 1 bzw. Austrittsleitrad S2 im Sekundärkreis 2 ergibt. Die Ver-
- 20 dichterstufe b ist in Strömungsrichtung die Kombination aus Laufrad R3 und Leitrad S3 und die Turbinenstufe c ist in Strömungsrichtung die Kombination von Leitrad S4 und Laufrad R4.

Weitere Turbomaschinen sind z.B. als Verdichter, Lüfter, Kraftwerksturbine bekannt.

- 25 Eine der Hauptlärmquellen dieser Anordnungen ist die sog. Rotor-Stator-Interaktion bzw. Stator-Rotor-Interaktion. Dem Rotor-Stator-Interaktionslärm liegt dabei folgender Mechanismus zu Grunde: Durch den periodisch umlaufenden Nachlauf eines rotierenden Schaufelgitters (Rotor) liegt ein stromabwärts gelegenes stationäres Schaufelgitter (Stator) in einer periodisch instationären Anströmung, wodurch auf diesen
- 30 Statorschaufeln periodische hydrodynamische Druckschwankungen entstehen, die als tonaler Lärm an die Umgebung abgestrahlt werden.

Dem Stator-Rotor-Interaktionslärm liegt folgender Mechanismus zu Grunde: Durchschlägt ein rotierendes Schaufelgitter (Rotor) den stationären Nachlauf eines stromaufwärts gelegenen stationären Schaufelgitters (Stator), erfahren die Rotorblätter eine periodisch instationäre Anströmung, wodurch auf diesen Rotorblättern periodische Druckschwankungen entstehen, die als tonaler Lärm an die Umgebung abgestrahlt werden.

Während des Starts und der Landung tragen die beschriebenen Mechanismen signifikant zu den Lärmemissionen von Verkehrsflugzeugen bei und stellen somit eine restriktive Größe bezüglich den immer strenger werdenden Lärmschutzverordnungen von Flugplätzen und deren Umgebung dar.

Es sind aktive und passive Systeme zur Lärmreduzierung bekannt. So werden z.B. akustischen Liner in den Begrenzungen der Strömungskanäle des Triebwerkes installiert oder es wird der Rotor-Stator-Abstand vergrößert. Aus US 4,131,387 ist ein passives System bekannt, bei dem durch Neigung der Statorschaufeln eine Lärmreduzierung erzielt wird. Ein Nachteil dieser Maßnahmen ist, dass die Baugröße sowie das Gewicht des Triebwerks zunimmt.

Eine weitere passive Maßnahme, bei der der Rotor auf seiner Hinterkante eine Sägezahnform aufweist, ist aus EP 1 277 966 bekannt.

Aus US 5,355,417 und US 5,420,383 sind als aktive Maßnahme zur Lärmreduzierung die Anordnung von akustischen Quellen im Einlauf des Triebwerks und/oder Sekundärkanal einer Turbomaschine bzw. im Statorblatt bekannt. Diese Maßnahmen beruhen auf dem Prinzip des sogenannten Anti-Schalls. Hierbei wird mittels einer komplexen Verteilung von akustischen Quellen versucht, die modulare Charakteristik des Schallfeldes nachzuahmen. Ein Nachteil hierbei ist, dass diese Verfahren und Systeme sehr aufwendig sind.

Des Weiteren ist es aus US 6,004,095 bekannt, eine Lärmreduzierung durch kontinuierliche Ausblasung an der Rotorhinterkante zu bewirken.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, bei welchem mittels aktiver Maßnahmen die Reduzierung der Lärmemission von Turbomaschinen verbessert

werden kann. Eine weitere Aufgabe besteht in der Angabe einer Rotor-Stator-Anordnung mit der eine Lärmreduzierung von Turbomaschinen realisiert werden kann.

- 5 Diese Aufgaben werden mit dem Verfahren gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch die Rotor-Stator-Anordnung gemäß den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.
- 10 Erfindungsgemäß werden die an den Schaufelgittern auftretende hydrodynamischen Druckschwankungen mittels Veränderung der Oberflächenumströmung mindestens eines Teils mindestens eines Stators reduziert. Dieses Verfahren setzt im Gegensatz zu den bekannten Verfahren direkt an der Quelle der Entstehung des Lärms an.
- 15 In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung wird die Oberflächenumströmung einer oder mehrerer Schaufeln des Stators verändert. Dabei ist es besonders vorteilhaft, dass die Aerodynamik des Stators durch Auslenkung einer oder mehrerer Schaufeln des Stators oder Teilen der Schaufeln beeinflusst wird. Selbstverständlich ist es möglich, dass die Aerodynamik einer beliebigen Anzahl der in einer Turboma-
- 20 schine vorhandenen Statoren nach dem erfindungsgemäßen Verfahren beeinflusst wird.
- Insbesondere ist es vorteilhaft möglich, die Oberflächenumströmung des Stators periodisch zu verändern. Ferner kann in einer weiteren vorteilhaften Ausführung der
- 25 Erfindung die Ansteuerung der einzelnen Statorschaufeln eines Gitters entweder individuell oder entsprechend der Teilung und der Drehzahl des Rotors phasenverschoben zueinander vorgenommen werden. Die Ansteuerfrequenz von periodischen Vorgängen entspricht dabei vorteilhaft der Grundfrequenz des tonalen Lärms und ergibt sich aus dem Produkt von Rotorblattzahl und Drehzahl. Die Phasenlage
- 30 und/oder die Amplitude der Ansteuerung wird vorteilhaft entsprechend geeigneter Fehlersignale geregelt. Diese Fehlersignale werden insbesondere von Mikrofonen oder Drucksensoren geliefert.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es somit möglich, die Oberflächenumströmung der Statorschaufeln derart anzupassen, dass die durch den umlaufenden Nachlauf eines stromaufwärts gelegenen rotierenden Schaufelgitters erzeugten Druckschwankungen auf diesen Statorschaufeln reduziert werden oder dass die durch den Nachlauf dieser Statorschaufeln auf einem stromab gelegenen rotierenden Schaufelgitters erzeugten Druckschwankungen reduziert werden. Selbstverständlich ist es möglich, dass bei einer mehrstufigen Ausführung einer Turbomaschine eine Kombination der oben beschriebenen Wirkungen möglich ist.

Die erfindungsgemäße Rotor-Stator-Anordnung umfaßt an einem oder mehreren Statoren Mittel zur Beeinflussung der Aerodynamik des Stators. Die Mittel sind dabei vorteilhaft:

- eine oder mehrere um eine vorgebbare Achse bewegliche Schaufeln des Stators,
- eine oder mehrere bewegliche Vorderkantenklappen, die an einer oder mehreren Schaufeln des Stators angebracht sind,
- eine oder mehrere bewegliche Hinterkantenklappen, die an einer oder mehreren Schaufeln des Stators angebracht sind,
- eine oder mehrere bewegliche Oberflächenelemente, die auf einer oder mehreren Schaufeln des Stators angebracht sind.

Darüber hinaus sind auf der Oberfläche von einer oder mehreren Schaufeln des Stators eine oder mehrere Öffnungen zum Ansaugen und/oder Ausblasen von Luft ausgeführt. Damit ist es ebenfalls möglich, Einfluss auf die auftretenden Druckschwankungen zu nehmen. Insbesondere ist es durch periodisches Ausblasen und/oder Ansaugen an der Oberfläche der Statorschaufeln möglich, die durch den umlaufenden Nachlauf eines stromaufwärts gelegenen rotierenden Schaufelgitters erzeugten Druckschwankungen zu reduzieren.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der erfindungsgemäßen Rotor-Stator-Anordnung sind an der Hinterkante einer oder mehrerer Schaufeln eines Stators eine oder mehrere Öffnungen zum Ausblasen von Luft vorhanden. Zweckmäßig wird durch ein kontinuierliches Ausblasen von Luft an der Hinterkante der Statorschaufeln die Anströmung eines stromab gelegenen rotierenden Schaufelgitters harmonisiert, wodurch die resultierenden Druckschwankungen reduziert werden.

Vorteilhaft sind die Mittel zur Beeinflussung der Aerodynamik eines Stators mechanisch, elektrisch, piezoelektrisch oder pneumatisch betriebene Aktuatoren. Selbstverständlich ist es möglich, je nach Anwendungsfall und Position eines Aktuators in der Rotor-Stator-Anordnung verschiedene Aktuatoren zu verwenden. Im Gegensatz zu den bei bekannten Verfahren oder Vorrichtungen zur Lärmreduzierung von Turbomaschinen verwendeten Aktuatoren, dienen die im erfindungsgemäßen Verfahren und in der erfindungsgemäßen Rotor-Stator-Anordnung eingesetzten Aktuatoren nicht der Erzeugung eines Anti-Schallfeldes, welches das von der Turbomaschine erzeugte Schallfeld kompensiert. Die Aktuatoren dienen erfindungsgemäß der Auslenkung des Stators oder Teilen des Stators, insbesondere der Schaufeln oder Teilen der Schaufeln.

Ein aktives System entsprechend der vorliegenden Erfindung läßt sich zweckmäßig zusammen mit passiven Systemen verknüpfen. So ist es z.B. möglich, das erfindungsgemäße System zu eventuell vorhandenen passiven Systemen in Flugzeugtriebwerken während lärmrelevanter Flugphasen (Start und Landung) zuzuschalten.

Selbstverständlich kann das erfindungsgemäße System auch in nichtfliegenden Turbomaschinen eingesetzt werden, z.B. Kraftwerksturbinen.

Ein Vorteil der Erfindung liegt darin, dass das System wartungs- und montagefreundlich ist, da sich die Aktuatorik im feststehenden System der Statoren befindet.

Die Erfindung wird anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein beispielhaftes Triebwerk in Schnittdarstellung,

Fig. 2 beispielhafte Schaufeln eines Stators mit erfindungsgemäßen Mitteln zur Veränderung der Aerodynamik des Stators,

Fig. 3 beispielhafte Schaufeln eines Stators mit Öffnungen zum Ansaugen und Ausblasen von Luft.

Fig. 2 zeigt beispielhafte Schaufeln eines Stators mit erfindungsgemäßen Mitteln zur Veränderung der Aerodynamik des Stators. Mit dem Bezugszeichen 11 ist dabei eine beliebige Achse angegeben, um die die Schaufel S beweglich angeordnet ist. Eine



Schaufel S kann mit Vorderkanten klappen 12 und/oder Hinterkantenklappen 13 ausgestattet sein. Darüber hinaus kann eine Schaufel S eine oder mehrere Mittel 14 aufweisen, welche der Oberfläche der Schaufel S aufgebracht sind. Diese Mittel 14 können z.B. Aktuatoren sein.

5

Fig. 3 zeigt im oberen Teil eine Darstellung eine beispielhafte Schaufel S, welche im Bereich der Vorderkante und im Mittelbereich Öffnungen 15 und 16 aufweist. Aus diesen Öffnungen 15 und 16 kann einerseits Luft angesaugt oder Luft ausgeblasen werden. Im unteren Teil der Fig. 3 ist eine beispielhafte Schaufel S abgebildet, welche im Bereich der Hinterkante eine Öffnung 17 aufweist, durch welche Luft kontinuierlich ausgeblasen werden kann. Selbstverständlich können die Mittel 15, 16, 17 zum Ein- und Ausblasen von Luft beliebig miteinander kombiniert werden. So kann es z.B. auch vorgesehen werden, dass benachbarte Schaufeln eines Stators verschieden angeordnete Öffnungen zum Ein- oder Ausblasen von Luft aufweisen.

10

15

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Lärmreduzierung von Turbomaschinen mit Schaufelgittern (S1,R1; S2,R1; S3,R3; S4,R4), **dadurch gekennzeichnet, dass** an den Schaufelgittern (S1,R1; S2,R1; S3,R3; S4,R4) auftretende hydrodynamische Druckschwankungen mittels Veränderung der Oberflächenumströmung mindestens eines Teils mindestens eines Stators (S1, S2, S3, S4) reduziert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenumströmung einer oder mehrerer Schaufeln (S) des Stators (S1, S2, S3, S4) verändert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aerodynamik des Stators (S1, S2, S3, S4) durch Auslenkung einer oder mehrerer Schaufeln (S) oder Teile davon verändert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aerodynamik des Stators (S1, S2, S3, S4) durch in eine oder mehrere Schaufeln (S) einströmende oder durch aus einer oder mehreren Schaufeln (S) ausströmenden Luft verändert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2-4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Schaufeln (S) eines Stators (S1, S2, S3, S4) individuell oder entsprechend Teilung und Drehzahl des Stators (S1, S2, S3, S4) phasenverschoben angesteuert werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Phasenlage und/oder die Amplitude der Ansteuerung mittels Fehlersignale geregelt wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenumströmung des Stators (S1, S2, S3, S4) periodisch verändert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansteuerfrequenz des periodischen Verfahrens der Grundfrequenz des tonalen Lärms, welche sich aus dem Produkt von Rotorblattzahl und Drehzahl ergibt, entspricht.
- 5 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der Hinterkante einer oder mehrerer Schaufeln (S) des Stators (S1, S2, S3, S4) kontinuierliche Luft ausgeblasen wird zur Harmonisierung der Anströmung stromabwärts gelagerter Schaufelgitter.
10. Rotor-Stator-Anordnung, **dadurch gekennzeichnet, dass** an einem oder mehreren Statorn (S1, S2, S3, S4) Mittel (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17) zur Beeinflussung der Oberflächenumströmung mindestens eines Teils des Stators (S1, S2, S3, S4) vorhanden sind.
11. Rotor-Stator-Anordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17) an einer oder mehreren Schaufeln des Stators (S1, S2, S3, S4) angebrachte eine oder mehrere bewegliche Vorderkantenklappen (12) sind.
- 15 12. Rotor-Stator-Anordnung nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17) an einer oder mehreren Schaufeln des Stators (S1, S2, S3, S4) angebrachte eine oder mehrere bewegliche Hinterkantenklappen (13) sind.
- 20 13. Rotor-Stator-Anordnung nach einem der Ansprüche 10-12, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine oder mehrere Schaufeln des Stators (S1, S2, S3, S4) um eine vorgebbare Achse (11) beweglich ist.
- 25 14. Rotor-Stator-Anordnung nach einem der Ansprüche 10-13, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf eine oder mehreren Schaufeln des Stators (S1, S2, S3, S4) ein oder mehrere bewegliche Oberflächenelemente (14) angeordnet sind.

15. Rotor-Stator-Anordnung nach einem der Ansprüche 10-14, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf der Oberfläche von einer oder mehreren Schaufeln des Stators (S1, S2, S3, S4) eine oder mehrere Öffnungen (15, 16) zum Ansaugen und/oder Ausblasen von Luft ausgeführt sind.
- 5 16. Rotor-Stator-Anordnung nach einem der Ansprüche 10-15, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der Hinterkante von einer oder mehreren Schaufeln (S) des Stators (S1, S2, S3, S4) eine oder mehrere Öffnungen (17) zum kontinuierlichen Ausblasen von Luft vorhanden sind.
17. Rotor-Stator-Anordnung nach einem der Ansprüche 10-14, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Beeinflussung der Bewegung der Mittel (11, 12, 13, 14) mechanisch, elektrisch, piezoelektrisch, hydraulisch oder pneumatisch betriebene Aktuatoren vorhanden sind.
18. Rotor-Stator-Anordnung nach einem der Ansprüche 10-17 bei welchem im Bedarfsfall ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1-8 angewendet wird.
- 15 19. Triebwerk mit einer Rotor-Stator-Anordnung nach Anspruch 18.
20. Flugkörper mit einem Triebwerk gemäß Anspruch 19.

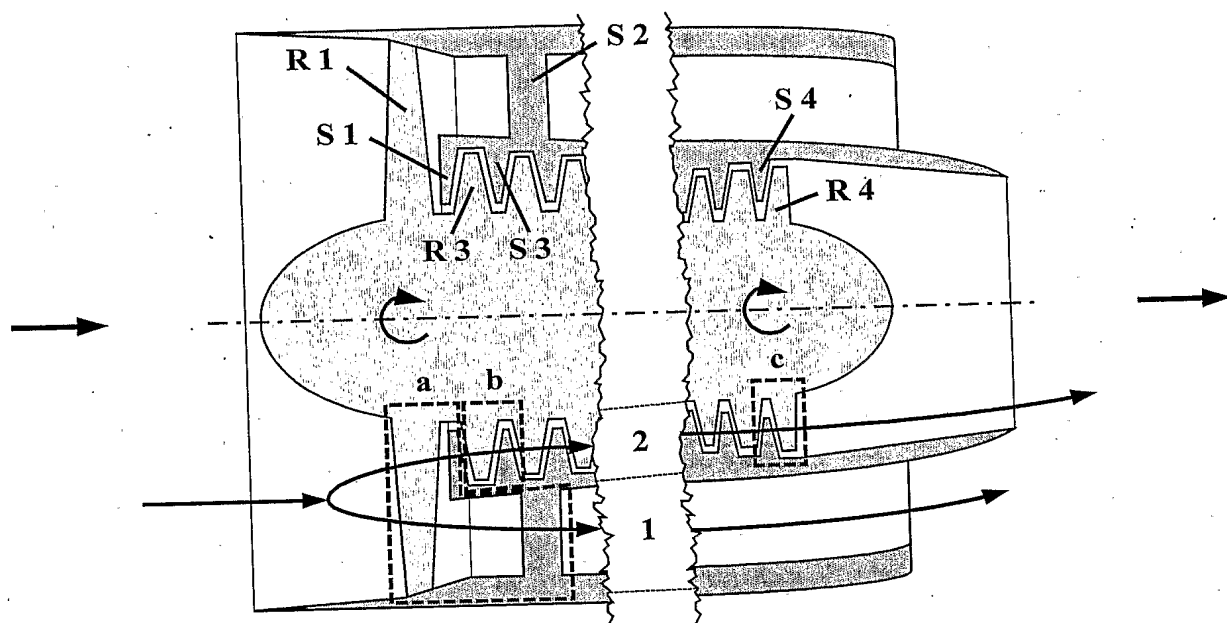
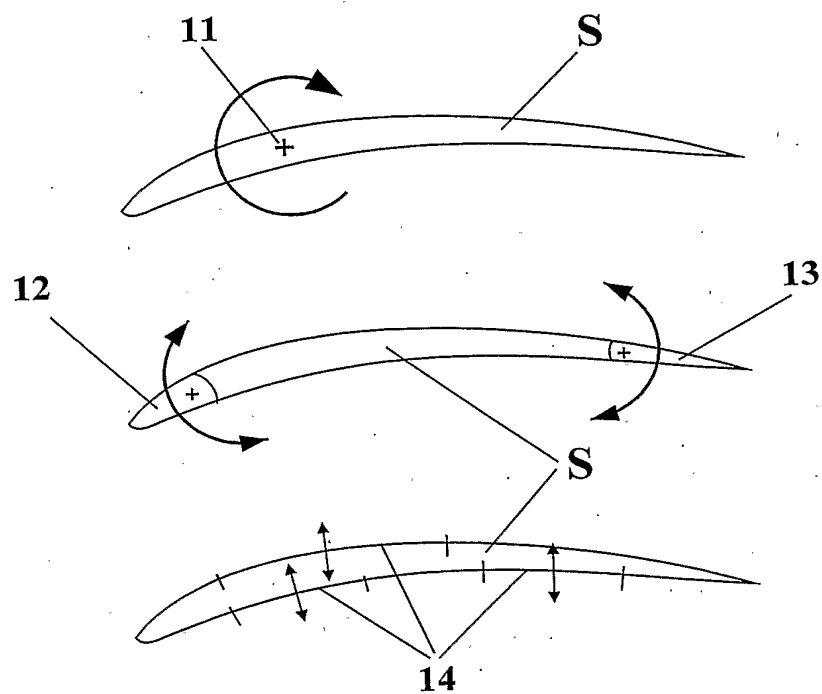
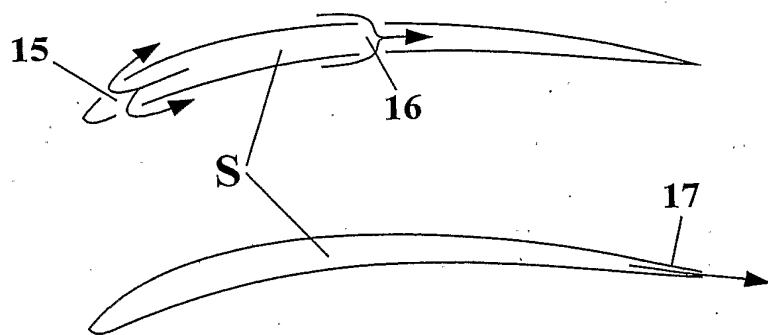


Fig. 1

**Fig. 2**



**Fig. 3**